

Requested document:	DE10213395 click here to view the pdf document
---------------------	--

Light emitting group III-nitride arrangement comprises substrate, an n-region lying on substrate, an active region lying over the n-region, smooth layer containing indium arranged between the substrate and active region, and spacer layer

Patent Number:

Publication date: 2002-10-10

Inventor(s): GOETZ WERNER K (US); CAMRAS MICHAEL D (US); GARDNER NATHAN F (US); KERN SCOTT R (US); KIM ANDREW Y (US); STOCKMAN STEPHEN A (US)

Applicant(s): LUMILEDS LIGHTING U S (US)

Requested Patent: ☐ [DE10213395](#)

Application Number: DE20021013395 20020326

Priority Number (s): US20010823732 20010329

IPC Classification: H01L33/00

EC Classification: [H01L33/00C3](#), [H01L33/00C4D3C](#), [H01S5/323B4](#), [Y01N10/00](#)

Equivalents: ☐ [JP2002314129](#), TW549008B, ☐ [US2002171091](#), ☐ [US6489636](#)

Abstract

Light emitting group III-nitride arrangement comprises a substrate (11); an n-region (12) lying on the substrate; an active region (16) lying over the n-region; a smooth layer (14) containing indium arranged between the substrate and the active region; and a spacer layer (15) lying between the smooth layer and the active region. The smooth region is at least 200 Angstroms thick and contains a higher doping concentration than the spacer layer. A surface of the smooth layer lies less than 0.5 microns m from the surface of the active region. An Independent claim is also included for a process for the production of the light emitting III-nitride arrangement. Preferred Features: The smooth layer is made from InGaN containing 2-12 % In and is doped with silicon. The spacer layer is made from GaN or AlGaIn.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 102 13 395 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
H 01 L 33/00

⑳ Aktenzeichen: 102 13 395.6
㉔ Anmeldetag: 26. 3. 2002
㉕ Offenlegungstag: 10. 10. 2002

DE 102 13 395 A 1

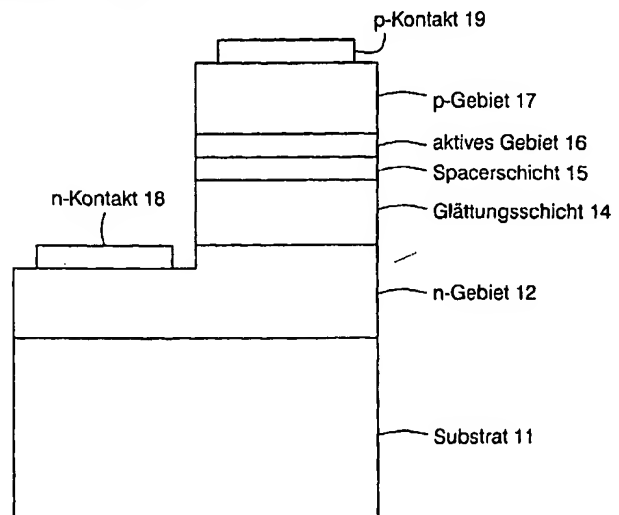
③① Unionspriorität:
823732 29. 03. 2001 US
⑦① Anmelder:
LumiLeds Lighting, U.S., LLC, San Jose, Calif., US
⑦④ Vertreter:
Volmer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 52064 Aachen

⑦② Erfinder:
Goetz, Werner K., Palo Alto, Calif., US; Camras,
Michael D., Sunnyvale, Calif., US; Gardner, Nathan
F., Mountain View, Calif., US; Kern, Scott R., San
Jose, Calif., US; Kim, Andrew Y., Hayward, Calif.,
US; Stockman, Stephen A., Morgan Hill, Calif., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Indiumgalliumnitrid-Glättungsstrukturen für III-Nitrid-Anordnungen

⑤⑦ Eine Indium enthaltende Glättungsstruktur wird zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet einer Licht emittierenden III-Nitrid-Anordnung gebildet, um die Oberflächeneigenschaften der Schichten der Anordnung zu verbessern. Bei manchen Ausführungsformen ist die Glättungsstruktur eine einzelne Schicht, die von dem aktiven Gebiet durch eine Spacerschicht getrennt ist, die typischerweise kein Indium enthält. Die Glättungsschicht enthält einen Anteil Indium, der niedriger ist als der des aktiven Gebietes, und wird typischerweise bei höherer Temperatur als das aktive Gebiet aufgebracht. Die Spacerschicht wird typischerweise aufgebracht, während die Temperatur in dem Reaktor von der Depositionstemperatur für die Glättungsschicht auf die Depositionstemperatur für das aktive Gebiet verringert wird. Bei anderen Ausführungsformen wird ein verlaufendes Glättungsgebiet verwendet, um die Oberflächeneigenschaften zu verbessern. Das Glättungsgebiet kann einen verlaufenden Anteil, verlaufende Dotierstoffkonzentration oder beides haben.



DE 102 13 395 A 1

- [0001] Licht emittierende Halbleiterdioden (LEDs) gehören zu den wirksamsten derzeit verfügbaren Lichtquellen. Materialsysteme, die derzeit bei der Herstellung von LEDs mit großer Helligkeit, welche im sichtbaren Spektrum betrieben werden können, von Interesse sind, sind Halbleiter der Gruppe III-V, insbesondere binäre, ternäre, und quaternäre Legierungen aus Gallium, Aluminium, Indium, und Stickstoff, auch als III-Nitridmaterialien bezeichnet. Typischerweise werden III-Nitridschichten auf Saphir-, Siliciumcarbid- oder Galliumnitridsubstraten epitaktisch aufgewachsen. Saphirsubstrate werden trotz ihrer schlechten strukturellen und thermischen Anpassung an III-Nitridschichten häufig verwendet, und zwar wegen der großen Verfügbarkeit von Saphir, seiner hexagonalen Symmetrie und der einfachen Handhabbarkeit und Reinigung vor dem Aufwachsen. Siehe beispielsweise S. Strite und H. Morkoc, GaN, AlN, und InN: A review, J. Vac. Sci. Technol. B 10(4), Juli/Aug. 1992, S. 1237.
- [0002] Um LEDs mit guten Leistungen zu garantieren, z. B. Anordnungen mit hoher Helligkeit, hoher Lichtausbeute oder hoher Zuverlässigkeit, müssen die Eigenschaften von Schichtgrenzflächen sorgfältig betrachtet werden. Von besonderem Interesse sind die Schichtgrenzflächen unter und in dem aktiven Gebiet. Die Qualität von Schichtgrenzflächen wird durch den Zustand der Aufwachsfläche beeinflusst, auf der aufeinander folgende Schichten aufgebracht werden. Zu den Umständen, die zu einer schlechten Aufwachsflächenqualität führen, gehören mangelnde Substratoberflächenreinheit, Substratoberflächenfehlorientierung, schlechte Aufwuchsbedingungen und Verunreinigungen.
- [0003] Ein mögliches Verfahren, um eine glatte GaN-Oberflächenmorphologie zu erhalten, ist, eine dicke Schicht aus GaN bei hoher Temperatur (ungefähr 1100°C) und hohen molaren Gasphasenkonzentrationsverhältnissen von Gruppe-V-Gruppe-III-Elementen aufzuwachsen. Auf diese Weise aufgewachsene GaN-Schichten haben im Vergleich zu unter Standard-Aufwuchsbedingungen aufgewachsenen GaN-Schichten ein hohes Verhältnis der lateralen zur vertikalen Aufwachsgeschwindigkeit, was es den GaN-Schichten ermöglicht, über raue Oberflächen hin zu wachsen und eine glatte Oberfläche für das Aufwachsen nachfolgender Anordnungsschichten zu verschaffen, die auf der GaN-Schicht aufgewachsen werden. Um jedoch eine glatte, plane Oberfläche zu erhalten, müssen auf diese Weise aufgewachsene GaN-Schichten dick sein und erfordern eine lange Aufwuchsdauer. Weiterhin können In enthaltende aktive Gebiete in einer LED oder Laserdiode Oberflächenglättebedingungen erfordern, die von den Bedingungen abweichen, die mit dem oben beschriebenen Verfahren verschafft werden können.
- [0004] Erfindungsgemäß wird eine Glättungsstruktur, die Indium enthält, um das Aufwachsen eines aktiven Gebietes vorzubereiten, zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet einer Licht emittierenden III-Nitrid-Anordnung gebildet. Bei manchen Ausführungsformen wird die Glättungsstruktur vom aktiven Gebiet durch eine Spacerschicht getrennt, und die Glättungsstruktur ist zumindest 200 Ångström dick und liegt innerhalb 0,5 Mikrometer des aktiven Gebietes. Bei einer ersten Ausführungsform ist die Glättungsstruktur eine einzelne Schicht, die stärker dotiert ist als die Spacerschicht. Bei einer zweiten Ausführungsform ist die Spacerschicht dünner als eine Barrierschicht in dem aktiven Gebiet der Anordnung. Bei einer dritten Ausführungsform wird eine Glättungsschicht in Kombination mit einem fehlorientierten Substrat verwendet. Die Glättungsstrukturen der vorliegenden Erfindung können die Oberflächeneigenschaften der über der Glättungsstruktur aufgewachsenen Schichten verbessern, insbesondere das aktive Gebiet.
- [0005] Fig. 1 veranschaulicht eine LED mit einer Glättungsschicht und einer Spacerschicht gemäß der vorliegenden Erfindung.
- [0006] Fig. 2 veranschaulicht eine LED, bei der der n-Kontakt auf der Glättungsschicht gebildet ist.
- [0007] Fig. 3 veranschaulicht die Leitungsbandkantenenergie der Schichten der Anordnung von Fig. 1.
- [0008] Fig. 4 veranschaulicht das aktive Gebiet, die Spacerschicht und Glättungsschicht einer Ausführungsform der Erfindung.
- [0009] Fig. 5 veranschaulicht eine LED mit einem verlaufenden Glättungsgebiet.
- [0010] Fig. 6A veranschaulicht den Indium-Anteil von Anordnungen mit und ohne Anteilsverlauf im Glättungsgebiet.
- [0011] Fig. 6B veranschaulicht die Dotierstoffkonzentration von Anordnungen mit und ohne Dotierstoffkonzentrationsverlauf im Glättungsgebiet.
- [0012] Fig. 6C veranschaulicht sechs Beispiele für Verlaufsprofile.
- [0013] Fig. 7 veranschaulicht eine Anteilsübergitter-Glättungsstruktur.
- [0014] Fig. 8 veranschaulicht ein Beispiel für das n-Gebiet der Fig. 1, 2 und 5.
- [0015] Fig. 9 veranschaulicht die relative externe Quantenausbeute von Anordnungen mit und ohne Glättungsschicht.
- [0016] Fig. 10 veranschaulicht die relative externe Quantenausbeute von Anordnungen mit und ohne Glättungsschicht.
- [0017] Fig. 11A und 11B veranschaulichen Abstoßungskraft-Mikroskop-Oberflächenmikrographien von aktiven III-Nitrid-LED-Multi-Quantum-Well-Gebieten.
- [0018] Fig. 12 veranschaulicht eine Display-Anordnung, die LEDs gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung enthält.
- [0019] Fig. 13 veranschaulicht die relative externe Quantenausbeute von Anordnungen mit einer mit einem absichtlich fehlorientierten Substrat kombinierten Glättungsschicht.
- [0020] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine Indium enthaltende Glättungsstruktur in eine III-Nitrid Anordnung eingebaut, um III-Nitrid-Epitaxieschichten mit wünschenswerten Oberflächeneigenschaften aufzuwachsen. Bei manchen Ausführungsformen trennt eine Spacerschicht die Glättungsstruktur vom aktiven Gebiet. Hier verwendete III-Nitrid Halbleiterschichten beziehen sich auf Verbindungen, die durch die allgemeine Formel $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 \leq x+y \leq 1$) dargestellt werden, die weiterhin Elemente der Gruppe III, wie z. B. Bor und Thallium enthalten können und in denen ein Teil des Stickstoffs durch Phosphor, Arsen, Antimon oder Bismut ersetzt werden kann.
- [0021] Fig. 1 veranschaulicht einen Querschnitt einer III-Nitrid-LED, die eine Glättungsstruktur enthält, die eine einzelne Schicht ist. Ein n-Gebiet 12 ist auf einem Substrat 11 wie z. B. Saphir gebildet. Die Glättungsschicht 14 ist über dem n-Gebiet 12 gebildet. Die Glättungsschicht ist typischerweise eine n-Schicht, die unter dem aktiven Gebiet, wenn die LED mit dem Substrat als niedrigste Schicht betrachtet wird, innerhalb 5000 Ångström des aktiven Gebietes liegt. Die Glättungsschicht kann eine Dicke haben, die von etwa 200 Ångström bis zu mehreren Mikrometern reicht. Die Glät-

tungsschicht 14 hat einen niedrigeren Indium-Anteil als das aktive Gebiet 16. Typischerweise ist die Glättungsschicht 14 eine InGa_N-Schicht, die 2 bis 12% Indium enthält. Bei einer bevorzugten Ausführungsform enthält die Glättungsschicht 2 bis 6% Indium.

[0022] Eine Spacerschicht 15 trennt das aktive Gebiet 16 von der Glättungsschicht 14. Die Spacerschicht 15 enthält typischerweise kein In und kann beispielsweise GaN oder AlGa_N sein. Das aktive Gebiet 16 ist typischerweise eine Multi-Quantum-Well-Struktur aus AlInGa_N oder InGa_N, mit einem Indium-Anteil zwischen 5 und 50% und einem Aluminium-Anteil zwischen 0 und 50%. Ein p-Gebiet 17 wird über dem aktiven Gebiet gebildet. Der p-Kontakt 19 wird auf der oberen Fläche des p-Gebietes 17 gebildet und ein n-Kontakt 18 wird auf einem freigelegten Abschnitt auf dem n-Gebiet 12 gebildet. Alternativ wird der n-Kontakt 18 auf einem freigelegten Abschnitt der Glättungsschicht 14 gebildet, wie in Fig. 2 veranschaulicht.

[0023] Fig. 3 veranschaulicht die relative Lage der Leitungsbandkantenenergie der Schichten der Anordnung von Fig. 1. Wie in Fig. 3 dargestellt, hat die Glättungsschicht 14, da sie Indium enthält, eine Bandlücke, die kleiner ist als die des n-Gebietes 12 und der Spacerschicht 15. Die Bandlücke der Glättungsschicht 14 ist größer als die Bandlücke des aktiven Gebietes 16. Die hohe Bandlücke und geringe Dicke der Spacerschicht 15 minimieren die Absorption in der Spacerschicht von vom aktiven Gebiet emittiertem Licht. Die im Vergleich zum aktiven Gebiet höhere Bandlücke der Glättungsschicht 14 verringert die Absorption von aus dem aktiven Gebiet emittiertem Licht in der Glättungsschicht.

[0024] Bei einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist die Glättungsschicht stärker dotiert als die Spacerschicht. Die Glättungsschicht ist beispielsweise bis zu einer Konzentration zwischen $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ mit Si dotiert. Bei der ersten Ausführungsform ist die Spacerschicht vom n-Typ und beispielsweise bis zu einer Konzentration zwischen undotiert und $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ mit Si dotiert. Bei der ersten Ausführungsform hat die Spacerschicht eine Dicke, die von etwa 10 Ångström bis 1 Mikrometer reicht, mit einer typischen Dicke von 150 bis 200 Ångström. Aufwachsen der Spacerschicht erlaubt es, die Aufwuchsbedingungen, z. B. die Temperatur, von den Aufwuchsbedingungen der Glättungsschicht bis zu den Aufwuchsbedingungen des aktiven Gebietes einzustellen. Die Dicke der Spacerschicht ist so optimiert, dass sie dick genug ist, um Aufwuchsbedingungen während der Herstellung zum Aufwachsen des aktiven Gebietes zu stabilisieren, und dünn genug, um die günstigen Auswirkungen der Glättungsschicht auf die Oberflächeneigenschaften der über der Glättungsschicht aufgewachsenen Halbleiterschichten nicht zu schmälern.

[0025] Die Spacerschicht der ersten Ausführungsform hat eine Dotierstoffkonzentration, die niedriger ist als im n-Gebiet 12, somit ist die Spacerschicht eine höherohmige Schicht, die helfen kann, den Strom gleichmäßig im aktiven Gebiet zu verteilen, was verhindert, dass sich Strom in den kürzesten Wegen zwischen dem n-Kontakt und dem p-Kontakt sammelt. Anhand der Dotierstoffkonzentration in der Spacerschicht wird die Dicke der Spacerschicht so gewählt, dass die Spacerschicht nicht signifikant zur Durchlassspannung der Anordnung beiträgt.

[0026] Fig. 4 veranschaulicht das aktive Gebiet, die Spacerschicht und Glättungsschicht einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Das aktive Gebiet 16 der Anordnung ist typischerweise eine Multi-Quantum-Well-Struktur, mit zumindest einer Barrierschicht 51, die zwei oder mehrere Well-Schichten 50 trennt. Wenngleich vier Wells und drei Barrieren gezeigt werden, kann das aktive Gebiet mehr oder weniger Well-Schichten und Barrierschichten haben oder ein einziges aktives Quantum-Well-Gebiet sein. Bei der zweiten Ausführungsform ist die Spacerschicht 15 dünner als die Dicke einer Barrierschicht. Barrierschichten 51 können eine Dicke im Bereich von 25 Ångström bis zu einem Mikrometer haben und sind typischerweise etwa 100 bis 150 Ångström dick. Somit hat in der zweiten Ausführungsform die Spacerschicht typischerweise eine Dicke im Bereich von etwa zehn Ångström bis etwa 150 Ångström. Das Bilden einer Spacerschicht, die dünner ist als die Barrierschichten in dem aktiven Gebiet, ist günstig, weil sich die Fähigkeit der unter der Spacerschicht liegenden Glättungsschicht, die Oberflächeneigenschaften von über der Glättungsschicht aufgewachsenen Schichten zu beeinflussen, verringern kann, wenn die Spacerschicht dicker wird.

[0027] Bei einer dritten Ausführungsform ist eine Glättungsstruktur in einer Anordnung aufgenommen, die auf einem fehlgeschnittenen Substrat aufgewachsen ist. Solche Anordnungen können eine weitere Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Anordnung zeigen. Fehlgeschnittene Substrate werden so bereit, dass die erste Oberfläche, auf der Aufwachsen beginnt, hinsichtlich der Orientierung um einen kleinen Winkel von einer kristallographischen Hauptebene abweicht, beispielsweise der (0001)-c-Ebene von Saphir. Fehlgeschnittene Substrate sind in mehreren Materialsystemen, einschließlich III-Nitriden, für verschiedene Zwecke verwendet worden. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann jedoch die Kombination von fehlgeschnittenen Substraten mit einer Glättungsschicht zu einer größeren Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Anordnung führen, als jede für sich genommen, wie in Fig. 13 gezeigt wird. Die Größe des Fehlschnitts ist wichtig, wenn die Kombination von Glättungsschichten und fehlgeschnittenen Substraten implementiert wird. Im Allgemeinen erwarten wir, dass es einen optimalen Fehlschnittwinkel gibt, der von der Dicke der Glättungsschicht, dem genannten Anteil und der Dotierstoffkonzentration des n-Gebietes abhängt. Der optimale Fehlschnittwinkel kann auch von Aufwuchsbedingungen abhängen. Im Prinzip ist die Kombination von Glättungsschichten mit fehlgeschnittenen Substraten für alle Substrate effektiv, einschließlich Saphir, Siliciumcarbid und GaN. Verbesserte Leistungsfähigkeit der Anordnung ist in Anordnungen beobachtet worden, die auf fehlgeschnittenen Saphirsubstraten aufgewachsen waren, im Bereich von 0,2 bis 2 Grad fern von der (0001)-c-Ebene von Saphir.

[0028] Eine vierte Ausführungsform der Anordnung wird in Fig. 5 veranschaulicht. Bei der vierten Ausführungsform ist die Glättungsstruktur ein verlaufendes Glättungsgebiet 60. Das verlaufende Glättungsgebiet 60 kann einen verlaufenden Anteil, wie z. B. Indium-Anteil oder Aluminium-Anteil haben, eine verlaufende Dotierstoffkonzentration oder sowohl einen verlaufenden Anteil als auch eine verlaufende Dotierstoffkonzentration. Anordnungen mit einem verlaufenden Glättungsgebiet 60 können eventuell eine Spacerschicht mit konstantem Anteil und konstanter Dotierstoffkonzentration zwischen dem verlaufenden Glättungsgebiet und dem aktiven Gebiet enthalten. In Kombination mit einem verlaufenden Glättungsgebiet kann die Spacerschicht beispielsweise dotiertes oder undotiertes GaN, AlGa_N, InGa_N oder AlInGa_N sein. Typischerweise kann ein Abschnitt des verlaufenden Glättungsgebietes Indium enthalten.

[0029] Wie hier verwendet soll der Begriff "verlaufendes Glättungsgebiet" jede Struktur einschließen, die eine Änderung des genannten Anteils und/oder der Dotierstoffkonzentration in irgendeiner Weise bewirkt, die anders ist als eine einzige Stufe im Anteil und/oder der Dotierstoffkonzentration. Bei einem Beispiel ist das verlaufende Glättungsgebiet

ein Schichtenstapel, wobei jede der Schichten einen anderen Anteil und/oder eine andere Dotierstoffkonzentration hat als jede zu ihr benachbarte Schicht. Wenn die Schichten von auflösbarer Dicke sind, ist das verlaufende Glättungsgebiet als abgestuftes oder indexverlaufendes Gebiet bekannt. Im Grenzfall, wo die Dicke einzelner Schichten sich null nähert, ist das verlaufende Glättungsgebiet als kontinuierlich verlaufendes Gebiet bekannt. Die das verlaufende Glättungsgebiet zusammenstellenden Schichten können so angeordnet werden, dass sie eine Vielzahl von Profilen hinsichtlich Anteil und/oder Dotierstoffkonzentration gegenüber der Dicke bilden, einschließlich, aber nicht darauf begrenzt, linearer Verläufe, parabolischer Verläufe und potenziierter Verläufe. Auch sind verlaufende Glättungsgebiete nicht auf ein einzige Verlaufsprofil beschränkt, sondern können Abschnitte mit verschiedenen Verlaufsprofilen und einen oder mehrere Abschnitte mit Gebieten mit nahezu konstantem Anteil und/oder konstanter Dotierstoffkonzentration enthalten.

[0030] Fig. 6A veranschaulicht den Indium-Anteil der Schichten einer Anordnung ohne Verlauf und fünf Anordnungen mit einem Indium-Anteilsverlauf im verlaufenden Glättungsgebiet 60 von Fig. 5. Anordnung A ist die in Fig. 1 und 2 dargestellte Anordnung. In Anordnung A weist das n-Gebiet 12 kein Indium auf, enthält das Glättungsschicht 14 etwas Indium, hat die Spacerschicht 15 kein Indium und hat das aktive Gebiet mehrere indiumreiche Well-Schichten.

[0031] Die Anordnungen B, C, und D haben je einen verlaufenden Indium-Anteil im Glättungsgebiet und eine Spacerschicht mit konstantem Anteil, die das verlaufende Glättungsgebiet vom aktiven Gebiet trennt. In der Anordnung B enthält das n-Gebiet 12 kein Indium. In dem verlaufenden Glättungsgebiet 60 wird der Indium-Anteil allmählich innerhalb des Glättungsgebietes 60 erhöht. Der Indium-Anteil kann beispielsweise durch allmähliches Erhöhen des Verhältnisses der Durchflussmenge von Indium enthaltenden Vorläufergasen zur Durchflussmenge von Gallium enthaltenden Vorläufergasen beim Aufwachsen, oder durch allmähliches Absenken der Aufwachstemperatur, unter Beibehaltung des Verhältnisses der Durchflussmengen von Indium und Gallium enthaltenden Vorläufergasen konstant erhöht werden. In Anordnung C wird erst der Indium-Anteil abrupt erhöht, dann allmählich innerhalb des verlaufenden Glättungsgebietes 60 erniedrigt. Der Indium-Anteil kann beispielsweise durch allmähliches Verkleinern des Verhältnisses der Durchflussmenge von Indium enthaltenden Vorläufergasen zur Durchflussmenge von Gallium enthaltenden Vorläufergasen beim Aufwachsen und/oder durch allmähliches Anheben der Aufwachstemperatur erniedrigt werden. Der Indium-Anteil kann in den Anordnungen B und C beispielsweise von 0% bis etwa 12% variieren. Die Spacerschicht 15 liegt benachbart zum aktiven Gebiet und enthält wenig oder kein Indium. In Anordnung D ist der Indium-Anteil in einem ersten Abschnitt des verlaufenden Glättungsgebietes 60 erhöht, dann innerhalb eines zweiten Abschnittes des verlaufenden Glättungsgebietes konstant gehalten worden.

[0032] Die Anordnungen E und F haben neben dem aktiven Gebiet keine Spacerschicht mit konstantem Anteil und konstanter Dotierstoffkonzentration. Anordnungen, die keine Spacerschicht enthalten, haben nicht notwendigerweise dickere verlaufende Glättungsgebiete 60 als Anordnungen, die Spacerschichten enthalten. In der Anordnung E hat ein niedrigerer Abschnitt des verlaufenden Glättungsgebietes 60 einen konstanten Indium-Anteil. Der Anteil Indium im oberen Abschnitt des Glättungsgebietes wird dann beispielsweise von etwa 12% in dem unteren Abschnitt des Glättungsgebietes auf etwa 0% in dem Abschnitt des Glättungsgebietes neben dem aktiven Gebiet verringert. Wie oben beschrieben, wird der Anteil Indium in dem verlaufenden Glättungsgebiet durch Verkleinern des Verhältnisses der Durchflussmenge von Indium enthaltenden Vorläufergasen zur Durchflussmenge von Gallium enthaltenden Vorläufergasen beim Aufwachsen und/oder durch Erhöhen der Temperatur beim Aufwachsen verringert. Bei Anordnung F hat ein erster Abschnitt des verlaufenden Glättungsgebietes einen zunehmenden Anteil Indium, ein zweiter Abschnitt hat einen konstanten Indium-Anteil, danach hat ein dritter Abschnitt einen abnehmenden Anteil Indium.

[0033] Die in Fig. 6A dargestellten Anordnungen sind nur Beispiele für den Anteilsverlauf, der in dem verlaufenden Glättungsgebiet 60 möglich ist, und sollen nicht alle Weisen repräsentieren, in denen der Anteil gemäß der Erfindung in diesen Schichten verlaufend sein kann. Viele andere Anteilsverläufe sind möglich, wie dem Fachkundigen deutlich sein wird. Beispielsweise braucht der Anteilsverlauf nicht linear zu sein, er kann beispielsweise parabolisch sein. Weiterhin kann jeder beliebige der oben beschriebenen Anteilsverläufe mit oder ohne Spacerschichten ausgeführt werden, und mit oder ohne Dotierstoffkonzentrationsverlauf oder Verlauf des Anteils von anderen Gruppe-III-Elementen als Indium.

[0034] Ein wie oben anhand von Fig. 6 beschriebener Anteilsverlauf A kann mehrere Vorteile bieten. Gebiete mit verlaufendem Anteil können verwendet werden, um die Bandstruktur der Anordnung zu entwickeln, sowohl durch Verlaufen der Banddicke als auch durch piezoelektrische Ladung zwischen benachbarten Schichten. Gebiete mit verlaufendem Anteil beseitigen auch die Notwendigkeit von Aufwachsunterbrechungen, um Prozessbedingungen zwischen benachbarten Schichten zu ändern, da die Prozessbedingungen, wie z. B. Reaktortemperatur und Vorläufergasdurchflussmenge innerhalb des verlaufenden Gebietes allmählich eingestellt werden können. Aufwachsunterbrechungen können Verunreinigungsanhäufung, Kristallfehlerbildung und Oberflächenätzen an den Grenzflächen zwischen Schichten bewirken, somit vereinfacht das Beseitigen von Aufwachsunterbrechungen über verlaufende Gebiete nicht nur den Aufwachsprozess, sondern verbessert die Leistungsfähigkeit der Anordnung durch Beseitigung von Problemen an Grenzflächen, durch die der Trägereinschluss verringert und Träger wirksam einfangen werden können. Das anteil-verlaufende Glättungsgebiet sollte für minimale Absorption von aus dem aktiven Gebiet emittiertem Licht entworfen sein. Vorzugsweise sollte die minimale Bandlückenenergie innerhalb des Glättungsgebietes größer sein als die Photonenenergie von aus dem aktiven Gebiet emittiertem Licht.

[0035] Zusätzlich zu oder anstelle von verlaufendem Anteil kann die Dotierstoffkonzentration im Glättungsgebiet 60 verlaufend sein. Fig. 6B veranschaulicht eine Anordnung ohne Dotierstoffkonzentrationsverlauf und fünf Anordnungen mit Dotierstoffkonzentrationsverlauf. Anordnung A ist eine Anordnung, wie sie in der ersten Ausführungsform beschrieben wird. Das n-Gebiet 12 ist hoch dotiert, die Glättungsschicht 14 ist weniger dotiert als das n-Gebiet 12 und die Spacerschicht 15 ist weniger dotiert als die Glättungsschicht 14. Das n-Gebiet 12, die Glättungsschicht 14 und die Spacerschicht 15 haben alle eine nahezu uniforme Dotierstoffkonzentration.

[0036] Bei Anordnung B hat das n-Gebiet 12 eine uniforme Dotierstoffkonzentration, danach ist die Dotierstoffkonzentration innerhalb des verlaufenden Glättungsgebietes 60 allmählich verringert worden. Anordnung B enthält eine Spacerschicht 15 konstanter Dotierstoffkonzentration zwischen dem verlaufenden Glättungsgebiet 60 und dem aktiven Gebiet (nicht abgebildet). Bei den Anordnungen C, D, E und F trennt keine Spacerschicht das verlaufende Glättungsge-

biet 60 von dem aktiven Gebiet (nicht abgebildet). Bei Anordnung C ist die Konzentration von Dotierstoff abrupt verringert, dann innerhalb des verlaufenden Glättungsgebietes 60 allmählich erhöht worden. Bei Anordnung D ist erst die Konzentration von Dotierstoff in einem ersten Abschnitt des Glättungsgebietes allmählich verringert, dann in einem zweiten Abschnitt des verlaufenden Glättungsgebietes neben dem aktiven Gebiet konstant gehalten worden. Bei Anordnung E ist erst die Dotierstoffkonzentration abrupt verringert worden, dann in einem ersten Abschnitt des Glättungsgebietes konstant gehalten worden, dann innerhalb eines zweiten Abschnittes des Glättungsgebietes neben dem aktiven Gebiet allmählich erhöht worden. Bei Anordnung F ist die Dotierstoffkonzentration in einem ersten Abschnitt des Glättungsgebietes allmählich verringert, dann in einem zweiten Abschnitt des Glättungsgebietes konstant gehalten, dann in einem dritten Abschnitt des Glättungsgebietes neben dem aktiven Gebiet allmählich erhöht worden.

[0037] Die in Fig. 6B veranschaulichten Anordnungen sind nur Beispiele für den im verlaufenden Glättungsgebiet 60 möglichen Dotierstoffkonzentrationsverlauf und nicht dazu bestimmt, alle Weisen darzustellen, in denen die Dotierstoffkonzentration gemäß der Erfindung in diesen Schichten verlaufen kann. Beispielsweise braucht die Dotierstoffkonzentration nicht linear zu sein, wie in Fig. 6B dargestellt. Auch kann einer der oben beschriebenen Dotierstoffkonzentrationsverläufe mit oder ohne Spacerschichten ausgeführt sein und mit oder ohne Anteilsverlauf. Verlauf der Dotierstoffkonzentration in der verlaufenden Glättungsschicht 60 kann Vorteile bieten, wie z. B. Vereinfachung des Prozesses oder Ausgleich der piezoelektrischen Ladung, um die Durchlassspannung der LED oder Laserdiode zu verkleinern.

[0038] Fig. 6C veranschaulicht sechs Beispiele für mögliche Verlaufsprofile. Die in Fig. 6A und 6B veranschaulichten Verlaufsprofile brauchen nicht linear zu sein, wie im Verlaufsprofil A von Fig. 6C gezeigt. Die Verlaufsprofile können auch nichtlineare monotone Profile sein, wie z. B. das im Verlaufsprofil B dargestellte parabolische Profil oder das im Verlaufsprofil C dargestellte abgestufte Profil.

[0039] Auch können die Verlaufsprofile Übergitterstrukturen sein, die nicht monoton sind, wie in den Verlaufsprofilen D, E, und F gezeigt wird. In verlaufenden Übergittern wechseln die Schichten, die das verlaufende Glättungsgebiet aufbauen, systematisch in solcher Weise ab, dass sich der bewegende mittlere Anteil und/oder die Dotierstoffkonzentration der Schichten entlang der Dicke des verlaufenden Glättungsgebietes in gleichartiger Weise ändert wie oben für Nicht-Übergittergebiete beschrieben. Die Übergitterverlaufsprofile E und F sind für den Anteilsverlauf geeignet und die Profile D, E und F für den Dotierstoffkonzentrationsverlauf. Bei den Übergittern D, E und F wechseln Mengen von Schichten mit verschiedenen Verlaufsprofilen ab. Die Schichtmengen sind in den Verlaufsprofilen D, E und F willkürlich "1" und "2" genannt worden. Beim Profil D nimmt die Dotierstoffkonzentration in der ersten Menge von Schichten (mit "1" bezeichnet) zu. Die Schichten in der ersten Menge wechseln mit Schichten in der zweiten Menge von Schichten (mit "2" bezeichnet) ab, die eine konstante Dotierstoffkonzentration haben. Beim Profil E steigt die Dotierstoffkonzentration oder der Indium-Anteil sowohl in der ersten als auch zweiten Menge von Schichten an. Die Schichten in der ersten Menge nehmen jedoch über einen anderen Anteils- oder Dotierstoffkonzentrationsbereich zu als die Schichten in der zweiten Menge, somit ist die Gesamtstruktur nicht monoton. Beim Profil F nimmt die Dotierstoffkonzentration oder der Indium-Anteil in der ersten Menge von Schichten ab und nimmt in der zweiten Menge von Schichten zu.

[0040] Bei einer fünften Ausführungsform der Erfindung ist die Glättungsstruktur ein Anteil-Übergitter, d. h. ein Stapel aus abwechselnden dünnen Schichten aus GaN-basierten Materialien mit verschiedenen Anteilen. Fig. 7 stellt ein Glättungsübergitter gemäß der fünften Ausführungsform dar. Das Übergitter ist aus abwechselnden Schichten 14a und 14b aus Materialien mit hohem Indium-Anteil und niedrigem Indium-Anteil aufgebaut. Schichten 14a mit hohem In-Anteil sind beispielsweise etwa 10 bis etwa 30 Ångström dick und haben einen Indium-Anteil zwischen etwa 3 und 12%. Schichten 14b mit niedrigem In-Anteil sind beispielsweise etwa 30 bis etwa 100 Ångström dick und haben einen Indium-Anteil zwischen etwa 0 und 6%.

[0041] Bei manchen Ausführungsformen kann eine Anordnung mehrere Glättungsschichten enthalten, um die gewünschte Oberflächenglätte zu erhalten. Fig. 8 veranschaulicht ein Beispiel für ein n-Gebiet 12 von Fig. 1, 2, und 5 mehr im Einzelnen. Das n-Gebiet 12 kann eine über dem Substrat 11 gebildete Nukleationsschicht 12a enthalten. Eine undotierte GaN-Schicht 12b mit einer Dicke von etwa 0,5 µm liegt über der Nukleationsschicht 12a. Dotierte GaN-Schichten 12c und 12d liegen über der undotierten Schicht 12b. Die Schicht 12c ist eine mäßig dotierte GaN-Schicht mit einer Dicke von etwa 1 µm und einer n-Dotierstoffkonzentration von etwa 10^{18} cm^{-3} . Schicht 12d ist eine stärker dotierte Kontaktschicht mit einer Dicke von etwa 2 µm und einer n-Dotierstoffkonzentration von etwa 10^{19} cm^{-3} . Zusätzliche Indium enthaltende Glättungsstrukturen können zwischen den Schichten 12a und 12b, zwischen den Schichten 12b und 12c und zwischen den Schichten 12c und 12d oder innerhalb irgendeiner der Schichten positioniert sein. Bei Ausführungsformen, die mehrfache Glättungsschichten an Grenzflächen zwischen Schichten oder innerhalb der Schichten der Anordnung enthalten, trennen vorzugsweise zumindest 100 Ångström aus III-Nitridmaterial die Glättungsschichten.

[0042] Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung kann hergestellt werden, indem erst das Substrat 11, wie z. B. SiC, Saphir, GaN oder irgendein anderes geeignetes Substrat, an einer oder beiden Seiten poliert wird und dann das Substrat zum Aufwachsen mit verschiedenen Waschprodukten vorbereitet wird. GaN-basierte Halbleiterschichten 12, 14, 15, 16, und 17 werden dann auf dem Substrat 11 durch metallorganisches Abscheiden aus der Gasphase (MOCVD: metal-organic chemical vapor deposition), Molekularstrahlepitaxie (MBE: molecular beam epitaxy) oder eine andere Epitaxietechnik epitaktisch aufgewachsen. Das Substrat wird in einem Reaktor platziert und Vorläufgase, wie z. B. Trimethyl-Gallium und Ammoniak, werden eingebracht, die an der Oberfläche des Substrates zu GaN reagieren. Zuerst kann eine III-Nitrid-Nukleationsschicht wie z. B. AlN, GaN oder InGaN über dem Substrat 11 aufgewachsen werden. Dann wird das n-Gebiet 12, das beispielsweise mit Si, Ge, oder O dotiert ist, über der Nukleationsschicht hergestellt. Das n-Gebiet 12 wird typischerweise bei etwa 1050°C gebildet.

[0043] Die Glättungsschicht 14 gemäß der ersten, zweiten oder dritten Ausführungsform kann beispielsweise durch Entfernen des Trimethyl-Galliums aus dem Reaktor, dann Einbringen von Trimethyl-Indium, Triethyl-Gallium und Ammoniak in den Reaktor gebildet werden. Die Glättungsschicht 14 wird bei einer niedrigeren Temperatur aufgewachsen als das n-Gebiet (aufgewachsen bei etwa 1050°C) und bei einer höheren Temperatur als das aktive Gebiet (aufgewachsen zwischen 700 und 900°C), beispielsweise 960°C. Bildung der Glättungsschicht bei einer höheren Temperatur als das aktive Gebiet führt typischerweise zu besseren Oberflächeneigenschaften der Glättungsschicht und daher der über der Glät-

tungsschicht aufgewachsenen Schichten. Nach Beendigung des Aufwachsens der Glättungsschicht wird das Indium enthaltende Gas entfernt und die GaN- oder AlGaIn-Spacerschicht 15 gebildet. Der erste Teil der Spacerschicht 15 wird hergestellt, während die Temperatur von der Aufwachstemperatur der Glättungsschicht auf die Aufwachstemperatur des aktiven Gebietes, typischerweise zwischen 700 und 900°C abgesenkt wird. Der zweite Teil der Spacerschicht 15 wird bei der Aufwachstemperatur des aktiven Gebietes hergestellt, um die Aufwachstemperatur für das Aufwachsen des aktiven Gebietes zu stabilisieren.

[0044] Verlaufende Glättungsschichten gemäß der vierten Ausführungsform der Erfindung werden durch Änderung der oben beschriebenen Prozessbedingungen aufgewachsen, so wie anhand von Fig. 6A und 6B beschrieben. Beispielsweise kann ein hinsichtlich des Indium-Anteils verlaufendes Glättungsgebiet aufgewachsen werden, indem beim Aufwachsen allmählich die Temperatur und/oder das Verhältnis der Durchflussmengen des Indium enthaltenden Vorläufergases und des Gallium enthaltenden Vorläufergases geändert wird. Ein hinsichtlich der Dotierstoffkonzentration verlaufendes Gebiet kann durch allmähliches Ändern des Verhältnisses der Durchflussmenge eines Dotierstoff enthaltenden Gases zur Durchflussmenge der Gruppe-III-Elemente enthaltenden Gase während des Aufwachsens aufgewachsen werden.

[0045] Nach Beendigung des Aufwachsens der Spacerschicht 15 werden die Durchflussmengen von Indium und Gallium enthaltenden Vorläufergasen so eingestellt, dass sie die Well- und Barrierschichten des aktiven Gebietes 16 bilden. Die Aufwachstemperatur hat Einfluss darauf, wieviel Indium in einer Schicht aufgenommen wird, obwohl der Anteil einer Schicht auch mittels anderer Prozessbedingungen gesteuert werden kann, wie z. B. durch das Verhältnis der Durchflussmengen des Indium und des Gallium enthaltenden Vorläufergases. Typischerweise wird umso weniger Indium aufgenommen, je höher die Temperatur ist. Da die Glättungsschicht 14 und das aktive Gebiet 16 beide typischerweise Indium enthalten, wenn die Anordnung keine Spacerschicht 15 enthielt, müsste das Aufwachsen nach der Bildung der Glättungsschicht 14 gestoppt werden, um den Reaktor abkühlen zu lassen, um das aktive Gebiet 16 mit dem richtigen Anteil Indium zu bilden. Stoppen des Aufwachsens, um den Reaktor abkühlen zu lassen, kann ermöglichen, dass Verunreinigungsanhäufung oder Oberflächenätzen an der Oberfläche der Glättungsschicht auftritt, was den Oberflächeneigenschaften der Glättungsschicht und nachfolgender Schichten und der Leistungsfähigkeit der Anordnung schaden kann.

[0046] Nach Bildung des aktiven Gebietes werden andere Vorläufergase hinzugefügt und/oder entfernt, um das mit beispielsweise Mg dotierte p-Gebiet 17 aus AlGaIn oder GaN zu bilden. Innerhalb des p-Gebietes 17 können p-Schichten gebildet werden, die hinsichtlich Leitfähigkeit oder ohmscher Kontaktbildung optimiert werden können. Eine p-Metallisierungsschicht, die später den p-Kontakt bildet, wird dann über den Halbleiterschichten aufgebracht. Die Anordnung wird strukturiert und Abschnitte der p-Metallisierungsschicht, der p-Halbleiterschichten, des aktiven Gebietes und der n-Halbleiterschichten werden weggeätzt, um einen Abschnitt des n-Gebietes 12 freizulegen. Auf dem freigelegten Abschnitt des n-Gebietes 12 wird dann ein n-Kontakt aufgebracht. Bei einer anderen, in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform dringt die Ätzung nicht in das n-Gebiet 12 ein, vielmehr legt sie einen Abschnitt der n-Glättungsschicht 14 frei. Bei dieser Ausführungsform wird der n-Kontakt auf der Glättungsschicht 14 gebildet. n- und p-Kontakte können beispielsweise Au, Ni, Al, Pt, Co, Ag, Ti, Pd, Rh, Ru, Re und W oder Legierungen davon sein.

[0047] Gemäß der Erfindung können Anordnungen, die Indium enthaltende Glättungsstrukturen enthalten, mehrere Vorteile bieten. Erstens kann die Verwendung einer Glättungsstruktur wieder ein zweidimensionales "Step-flow"-Aufwachsen von glatten Halbleiteroberflächen herstellen, selbst nachdem ein unerwünschtes dreidimensionales Inselaufwachsen begonnen hat. Dreidimensionales Inselaufwachsen kann durch große Substratoberflächenfehlorientierung, schlechte Oberflächenvorbereitung oder Aufwacheinleitungsschritte, wie z. B. Siliciumdosierung, die zur Verringerung der Dichte von Kristallfehlstellen bestimmt ist, verursacht werden. Wie oben beschrieben wirkt sich die Oberflächenmorphologie auf die Leistungen der Anordnung aus; somit können Glättungsstrukturen sowohl die Wirksamkeit als auch die Zuverlässigkeit von III-Nitrid-LEDs verbessern.

[0048] Fig. 9 veranschaulicht die externe Quantenausbeute von auf fehlorientierten Substraten mit großem Fehlorientierungswinkel (z. B. 2 Grad zur c-Ebene) sowie mit und ohne Glättungsschichten aufgewachsenen LEDs. GaN-basierte Halbleiterschichten auf der c-Ebene (0001) von Saphir aufgewachsen, da auf (0001)-Saphir aufgewachsenes GaN im Vergleich zu auf anderen Ebenen von Saphir aufgewachsenem GaN einen besseren kristallinen Zustand aufweist. Wenn die GaN-Aufwachsfläche des Saphirsubstrates signifikant zu (0001) fehlorientiert ist und die Anordnung keine Glättungsschicht enthält, können die Oberflächeneigenschaften der epitaktisch aufgewachsenen GaN-Schichten und die Leistungsfähigkeit der Anordnung leiden. Fig. 9 demonstriert die Fähigkeit einer Glättungsschicht, durch Aufwachsen auf fehlorientierten Substraten bewirkte schwache Leistungen der Anordnung zu beseitigen. Die mit einer Glättungsschicht aufgewachsenen Anordnungen sind viel effizienter als die ohne Glättungsschicht aufgewachsenen Anordnungen.

[0049] Zweitens erhöht die Verwendung einer InGaIn-Glättungsschicht unter dem aktiven Gebiet die Helligkeit der resultierenden Anordnung. Fig. 10 veranschaulicht die relative Quantenausbeute von mit und ohne InGaIn-Glättungsschichten erzeugten Anordnungen. Die Dreiecke stellen Anordnungen mit einer InGaIn-Glättungsschicht dar und die Kreise Anordnungen ohne InGaIn-Glättungsschicht. Wie in Fig. 10 dargestellt, wird durch Verwendung einer InGaIn-Glättungsschicht eine Anordnung erzeugt, die etwa zweimal so effizient ist wie eine Anordnung der gleichen Farbe ohne InGaIn-Glättungsschicht.

[0050] Die Fähigkeit von Glättungsschichten, zweidimensionales Aufwachsen wieder herzustellen, nachdem dreidimensionales Aufwachsen begonnen hat, wird mit Fig. 11A und 11B demonstriert, die die Auswirkung von Glättungsschichten auf die Siliciumdosierung darstellen. Siliciumdosierung ist als Verfahren zum Verringern ausgedehnter Strukturdefekte in GaN-Schichten vorgeschlagen worden. Beim Aufwachsen wird die GaN-Schicht Silan ausgesetzt, das sich auf der Oberfläche des GaN als SiN abscheiden kann. Wenn wieder mit dem Aufwachsen begonnen wird, weist das resultierende GaN weniger Fehlstellen auf. Siliciumdosierung kann jedoch zum dreidimensionalen Inselaufwachsen führen. Fig. 11A und 11B sind Mikrographien, die aus Abstoßungskraft-Mikroskopmessungen für Multi-Quantum-Well(MQW)-LED-Strukturen gewonnen worden sind. In beiden Fällen wurde eine Oberfläche unter dem aktiven Gebiet Siliciumdosierung ausgesetzt. Fig. 11B veranschaulicht ein aktives MQW-Gebiet ohne Glättungsschicht. Siliciumdosierung hat dreidimensionales Inselaufwachsen bewirkt, was zu einer äußerst rauen Oberfläche führt. Fig. 11A veranschau-

licht eine gleichartige MQW-Struktur, aber mit einer Glättungsschicht zwischen der Si-dosierten Schicht und der MQW. Die Glättungsschicht unter der MQW hat das glatte zweidimensionale Aufwachsen von Niedertemperatur-III-Nitrid wiederhergestellt. Somit kann der Vorteil verringerter Defektdichte, wie er durch die Si-Dosierungstechnik erreicht wird, für LED Strukturen genutzt werden, weil die Glättungsstrukturen gemäß der vorliegenden Erfindung glatte Grenzflächen verschaffen können. Die Lichtausbeute zweier Si-dosierter MQW-Strukturen wird in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

MQW-Struktur	Si-Dosierung unter der Glättungsschicht	Si-Dosierung, keine Glättungsschicht
Normalisierte Lichtstärke	100%	7%
Oberflächenmorphologie	Glatt	Inseln

[0051] Die erste Struktur enthält eine oben auf einer Si-dosierten Oberfläche aufgewachsene Glättungsschicht. Die erste Struktur weist helle Lumineszenz auf. Die Intensität der ersten Struktur war auf 100% normalisiert. Die zweite Struktur ist Si-dosiert und enthielt die Glättungsschicht nicht. Die Lichtausbeute ist stark verringert.

[0052] Drittens können Glättungsschichten den Temperaturbereich erweitern, in dem III-Nitridschichten mit glatter Oberflächenmorphologie aufgewachsen werden können. Herkömmlicherweise ist MOCVD-Aufwachsen von GaN oder AlGaN auf kleine Temperaturfenster begrenzt, da hohe Temperatur typischerweise zu unerwünschten hexagonalen Oberflächenmerkmalen führt und niedrige Temperatur zur Bildung von Vertiefungen. Schließlich erlauben Glättungsschichten das Aufwachsen glatter III-Nitridschichten, ohne die Komplexität der Herstellung der Anordnung stark zu vergrößern.

[0053] Gemäß der Erfindung gebildete blaue und grüne LEDs sind besonders für Farbdisplayschirme geeignet, die rote, grüne, und blaue LEDs als Pixelelemente verwenden. Derartige Displays sind wohlbekannt und werden in Fig. 12 dargestellt. Ein Displayschirm 300 hat eine Matrix aus roten, grünen bzw. blauen LEDs, die mittels wohlbekannter Elektronik selektiv beleuchtet werden, um ein Bild wiederzugeben. In Fig. 12 werden der Einfachheit halber nur drei Pixel gezeigt. Bei einer Ausführungsform ist jede Primärfarbe in Spalten angeordnet. Bei anderen Ausführungsformen sind die Primärfarben in anderen Mustern angeordnet, wie z. B. Dreiecken. Die LEDs können auch zur Hintergrundbeleuchtung eines LCD-Displays verwendet werden. Zusätzlich können gemäß der vorliegenden Erfindung gebildete blaue- oder UV-emittierende LEDs in Kombination mit verschiedenen Leuchtstoffen verwendet werden, um weißes Licht zu erzeugen.

[0054] Obgleich nur bestimmte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung dargestellt und beschrieben wurden, liegt es für Fachkundige auf der Hand, dass Änderungen und Abwandlungen vorgenommen werden können, ohne dabei von der Erfindung in ihren breiteren Aspekten abzuweichen, und daher sollen die beigefügten Patentansprüche innerhalb ihres Rahmens sämtliche Änderungen und Abwandlungen umfassen, wie diese in das Wesen und den Rahmen dieser Erfindung fallen. Beispielsweise sind die Glättungsstrukturen der vorliegenden Erfindung nicht auf Licht emittierende Anordnungen (z. B. LEDs und Laserdioden) beschränkt und können auch auf Photodetektoren, elektronische Anordnungen, Bipolartransistoren und Anordnungen angewendet werden, bei denen die Grenzflächenqualität kritisch ist, wie z. B. Feldeffekttransistoren mit hoher Elektronenbeweglichkeit.

Patentansprüche

1. Licht emittierende III-Nitrid-Anordnung mit:
einem Substrat;
einem über dem Substrat liegenden n-Gebiet;
einem über dem n-Gebiet liegenden aktiven Gebiet;
einer Indium enthaltenden Glättungsschicht, wobei die Glättungsschicht zumindest 200 Ångström dick ist und zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet liegt; und
einer zwischen der Glättungsschicht und dem aktiven Gebiet liegenden Spacerschicht;
wobei die Glättungsschicht eine größere Dotierstoffkonzentration enthält als die Spacerschicht und eine Oberfläche der Glättungsschicht weniger als einen halben Mikrometer von einer Oberfläche des aktiven Gebietes liegt.
2. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, die weiterhin einen an die Glättungsschicht angeschlossenen n-Kontakt umfasst.
3. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Spacerschicht eine n-Dotierstoffkonzentration hat, die von undotiert bis etwa $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ reicht.
4. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Glättungsschicht eine n-Dotierstoffkonzentration hat, die von etwa $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ bis etwa $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ reicht.
5. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Glättungsschicht InGaN ist, das einen In-Anteil zwischen etwa 2 und etwa 12 Prozent hat.
6. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Glättungsschicht mit Si dotiert ist.
7. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Spacerschicht eine Dicke von etwa 10 Ångström bis etwa einen halben Mikrometer hat.
8. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Glättungsschicht eine Dicke von etwa 200 Ångström bis etwa 4 Mikrometer hat.
9. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Glättungsschicht an die Spacerschicht grenzt.

10. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 1, wobei die Spacerschicht GaN oder AlGaN ist.
11. Licht emittierende III-Nitrid-Anordnung mit:
 einem Substrat;
 einem über dem Substrat liegenden n-Gebiet;
 5 einem über dem n-Gebiet liegenden aktiven Gebiet, wobei das aktive Gebiet zumindest eine Well-Schicht und zumindest eine Barrierschicht umfasst;
 einer Indium enthaltenden Glättungsschicht, wobei die Glättungsschicht zumindest 200 Ångström dick ist und zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet liegt, und
 einer zwischen der Glättungsschicht und dem aktiven Gebiet liegenden Spacerschicht, wobei die Spacerschicht
 10 dünner als eine Barrierschicht ist;
 wobei eine Oberfläche der Glättungsschicht weniger als einen halben Mikrometer von einer Oberfläche des aktiven Gebietes entfernt liegt.
12. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11 die weiterhin einen an die Glättungsschicht angeschlossenen n-Kontakt umfasst.
13. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Spacerschicht eine n-Dotierstoffkonzentration hat, die von undotiert bis etwa $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ reicht.
14. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Glättungsschicht eine n-Dotierstoffkonzentration hat, die von etwa $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ bis etwa $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ reicht.
15. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Glättungsschicht InGaN ist, das einen In-Anteil zwischen etwa 2 und etwa 12 Prozent hat.
16. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Glättungsschicht mit Si dotiert ist.
17. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Spacerschicht eine Dicke von etwa 10 Ångström bis etwa einen halben Mikrometer hat.
18. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Glättungsschicht eine Dicke von etwa 200 Ångström bis etwa 4 Mikrometer hat.
19. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Glättungsschicht an die Spacerschicht grenzt.
20. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 11, wobei die Spacerschicht GaN oder AlGaN ist.
21. Licht emittierende III-Nitrid-Anordnung mit:
 einem Substrat mit einer Aufwachsfläche;
 30 einem über der Aufwachsfläche des Substrats liegenden n-Gebiet;
 einem über dem n-Gebiet liegenden aktiven Gebiet und
 einer Indium enthaltenden Glättungsschicht, wobei die Glättungsschicht zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet liegt;
 wobei die Aufwachsfläche zu einer kristallographischen Ebene des Substrates fehlorientiert ist.
22. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 21, wobei das Substrat Saphir ist und die kristallographische Ebene die c-Ebene ist.
23. Licht emittierende Anordnung nach Anspruch 21, wobei die Aufwachsfläche zu der kristallographischen Ebene um etwa $0,2^\circ$ bis etwa 2° fehlorientiert ist.
24. Verfahren zum Bilden einer Licht emittierenden III-Nitrid-Anordnung, wobei das Verfahren umfasst:
 40 Aufwachsen eines über einem Substrat liegenden n-Gebietes;
 Aufwachsen eines über einem n-Gebiet liegenden aktiven Gebietes;
 Aufwachsen einer Indium enthaltenden Glättungsschicht zwischen dem aktiven Gebiet und dem Substrat;
 Dotierung der Glättungsschicht bis zu einer ersten Dotierstoffkonzentration;
 Aufwachsen einer Spacerschicht zwischen der Glättungsschicht und dem aktiven Gebiet und
 45 Dotierung der Spacerschicht bis zu einer zweiten Dotierstoffkonzentration;
 wobei die erste Dotierstoffkonzentration größer ist als die zweite Dotierstoffkonzentration, die Glättungsschicht zumindest 200 Ångström dick ist und eine Oberfläche der Glättungsschicht weniger als einen halben Mikrometer von einer Oberfläche des aktiven Gebietes liegt.
25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei:
 50 Aufwachsen einer Glättungsschicht Aufbringen einer InGaN-Schicht bei einer ersten Temperatur umfasst;
 Aufwachsen eines aktiven Gebietes Aufbringen einer InGaN-Schicht bei einer zweiten Temperatur umfasst, wobei die zweite Temperatur niedriger ist als die erste Temperatur, und
 Aufwachsen einer Spacerschicht Aufbringen einer InGaN-Schicht umfasst, wobei eine Reaktortemperatur von der ersten Temperatur auf die zweite Temperatur verringert wird.
26. Verfahren nach Anspruch 24, wobei:
 55 Aufwachsen eines n-Gebietes Aufbringen einer n-GaN-Schicht bei einer ersten Temperatur umfasst;
 Aufwachsen eines aktiven Gebietes Aufbringen einer InGaN-Schicht bei einer zweiten Temperatur umfasst und
 Aufwachsen einer Glättungsschicht Aufbringen einer InGaN-Schicht bei einer dritten Temperatur umfasst, die größer ist als die zweite Temperatur und kleiner als die erste Temperatur.
27. Display-Anordnung mit:
 60 zumindest einer blaues Licht emittierenden Anordnung;
 zumindest einer grünes Licht emittierenden Anordnung und
 zumindest einer rotes Licht emittierenden Anordnung;
 wobei zumindest einer der blaues Licht emittierenden Anordnung, grünes Licht emittierenden Anordnung und rotes Licht emittierenden Anordnung umfasst:
 65 ein Substrat;
 ein über dem Substrat liegendes n-Gebiet;
 einem über dem n-Gebiet liegendes aktives Gebiet;

DE 102 13 395 A 1

eine Indium enthaltenden Glättungsschicht, wobei die Glättungsschicht zwischen dem Substrat und dem aktiven Gebiet liegt; und
eine zwischen der Glättungsschicht und dem aktiven Gebiet liegende Spacerschicht;
wobei die Glättungsschicht eine größere Dotierstoffkonzentration enthält als die Spacerschicht und eine Oberfläche der Glättungsschicht weniger als einen halben Mikrometer von einer Oberfläche des aktiven Gebietes liegt.

5

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

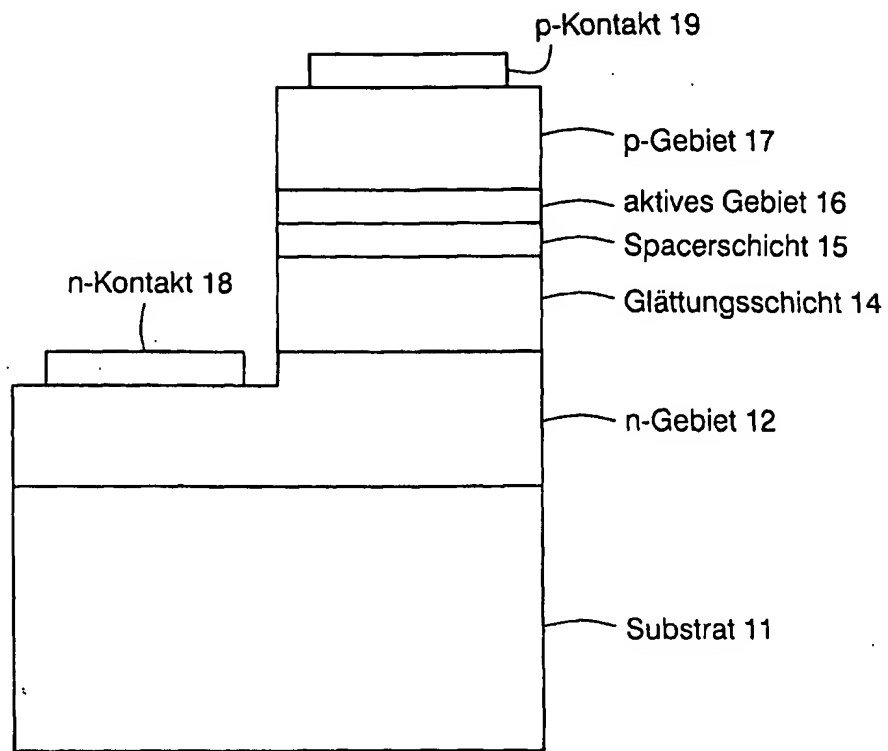


FIG. 1

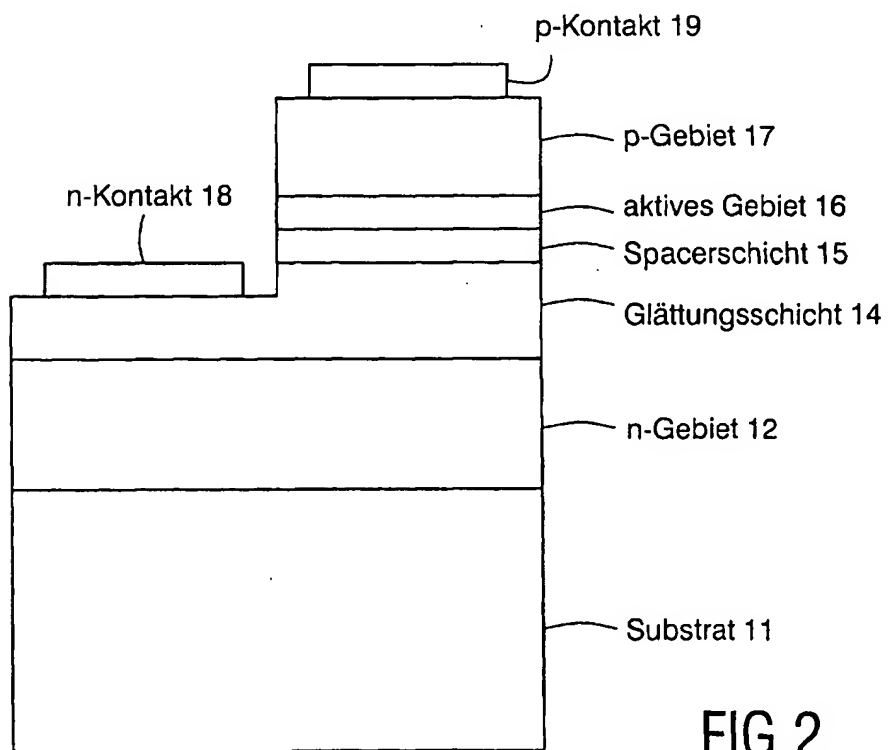


FIG. 2

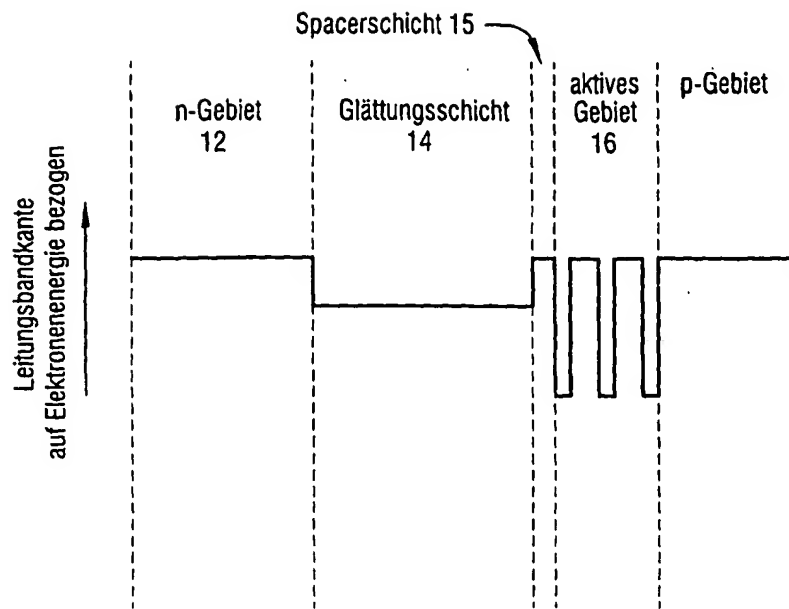


FIG.3

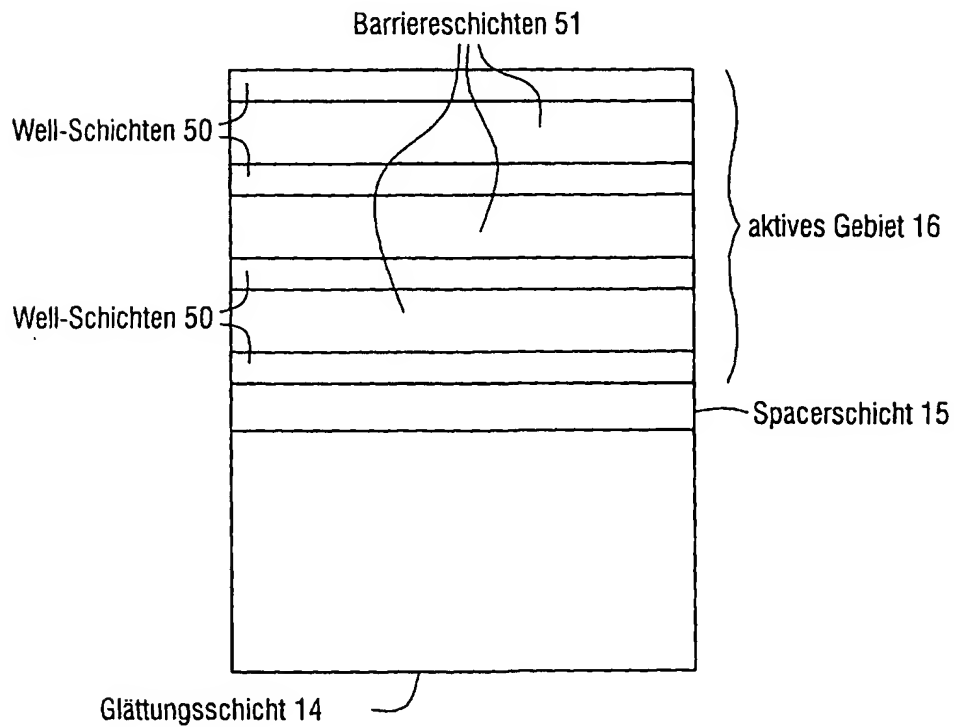


FIG.4

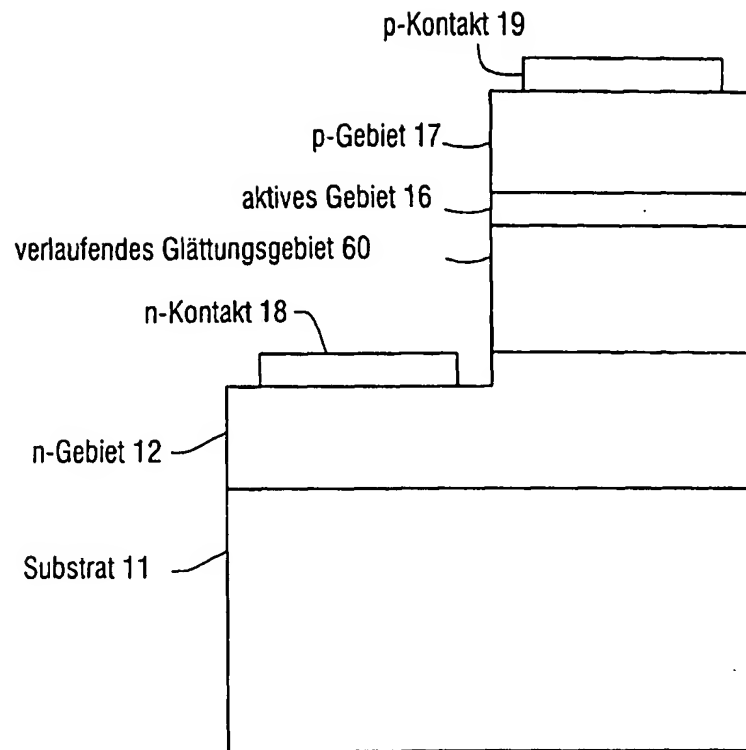


FIG.5

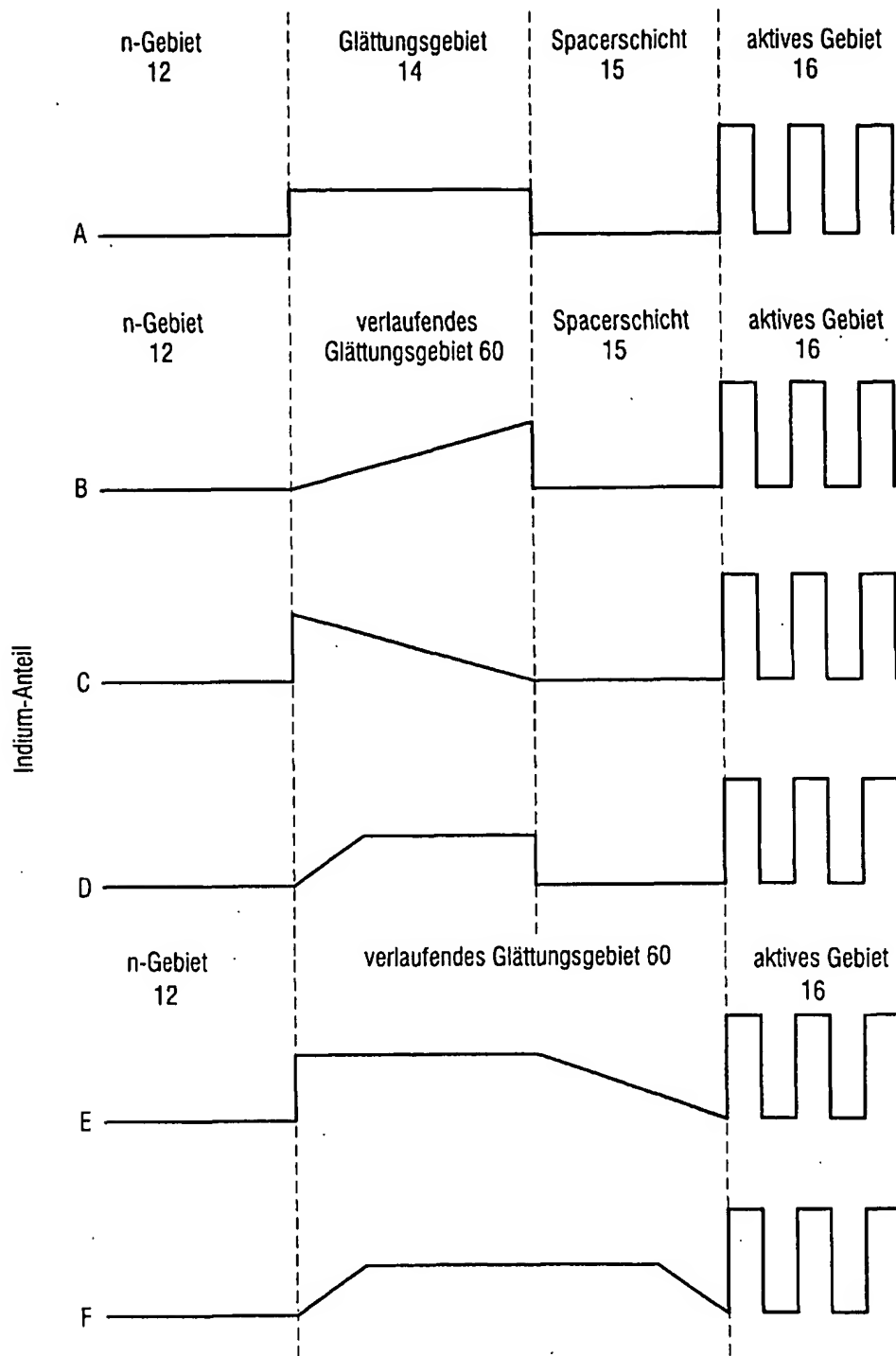


FIG. 6A

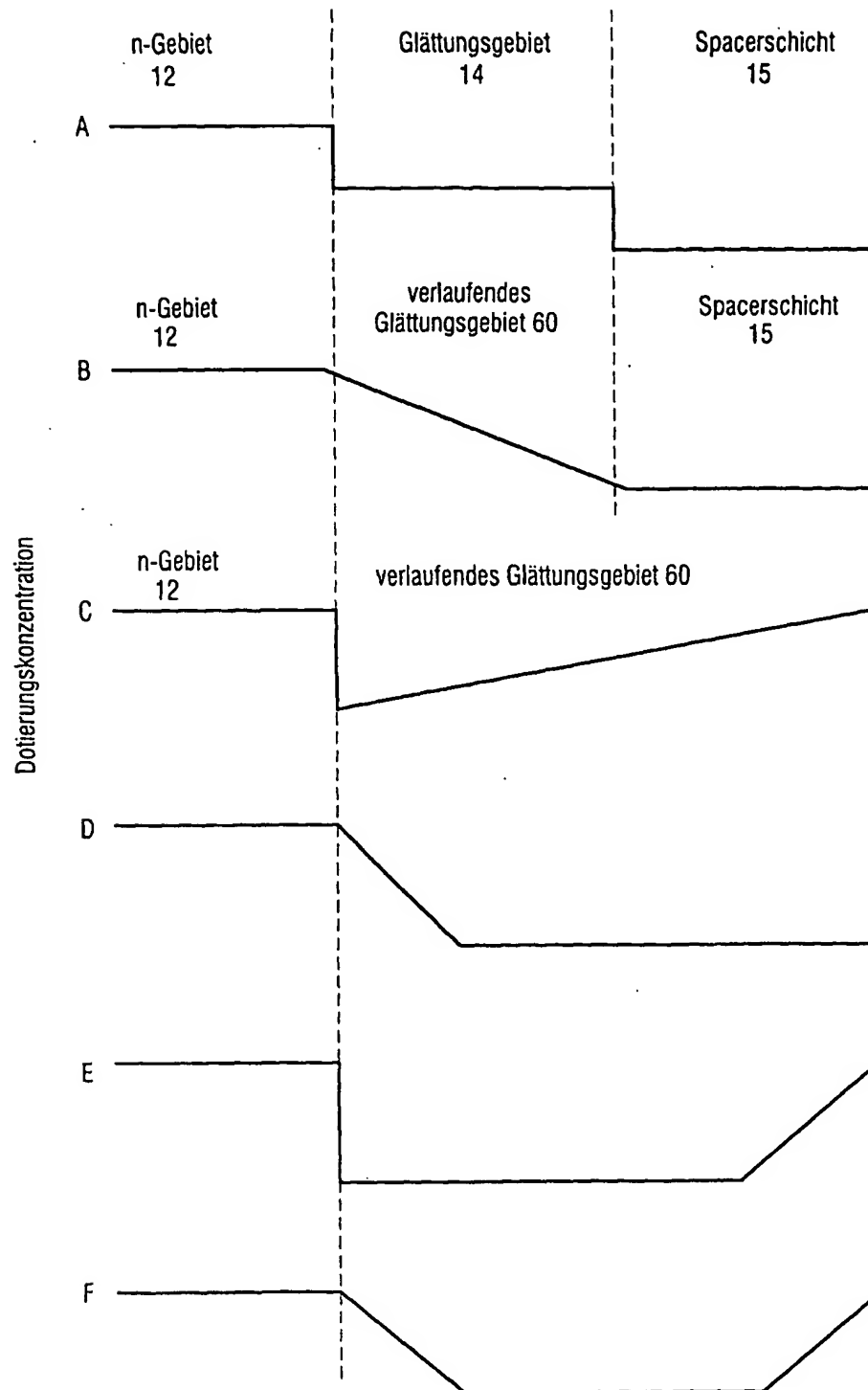


FIG.6B

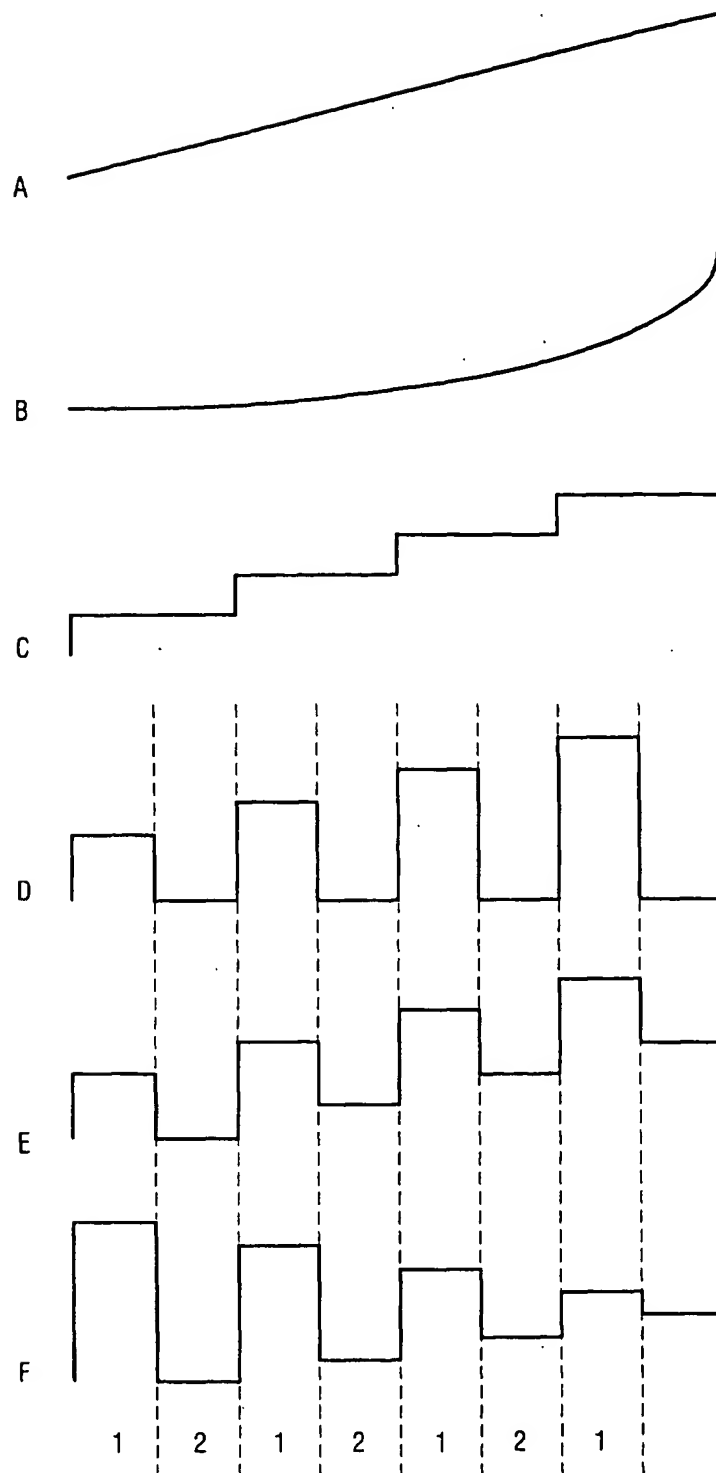


FIG.6C

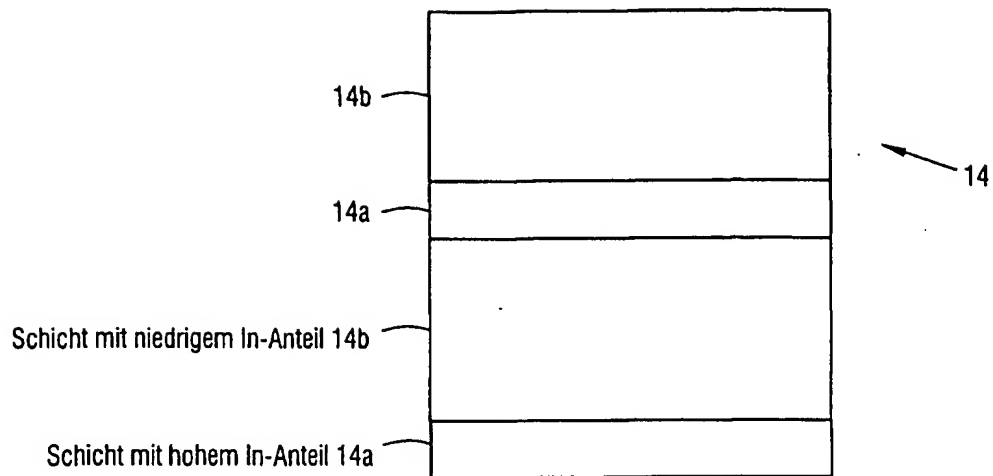


FIG.7

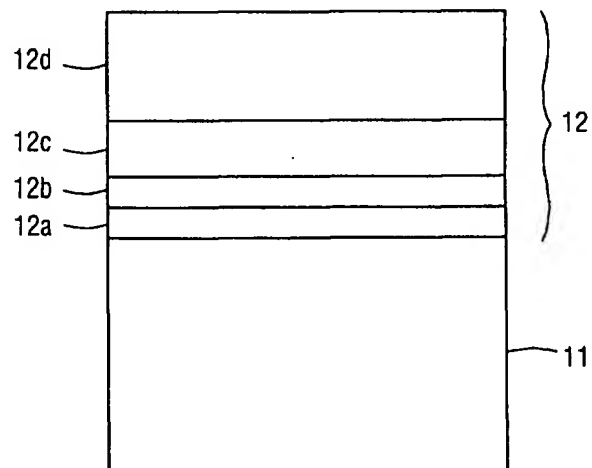


FIG.8

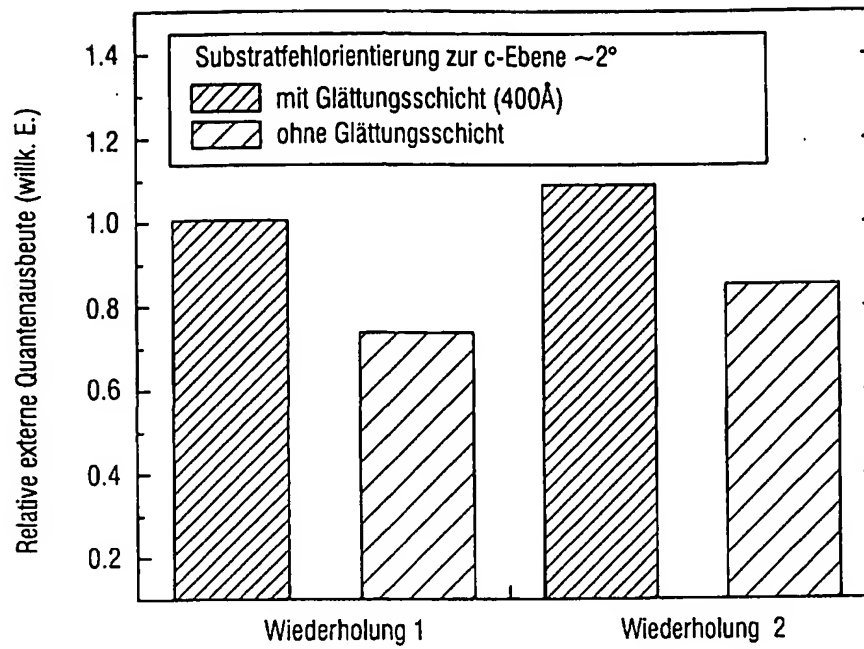


FIG.9

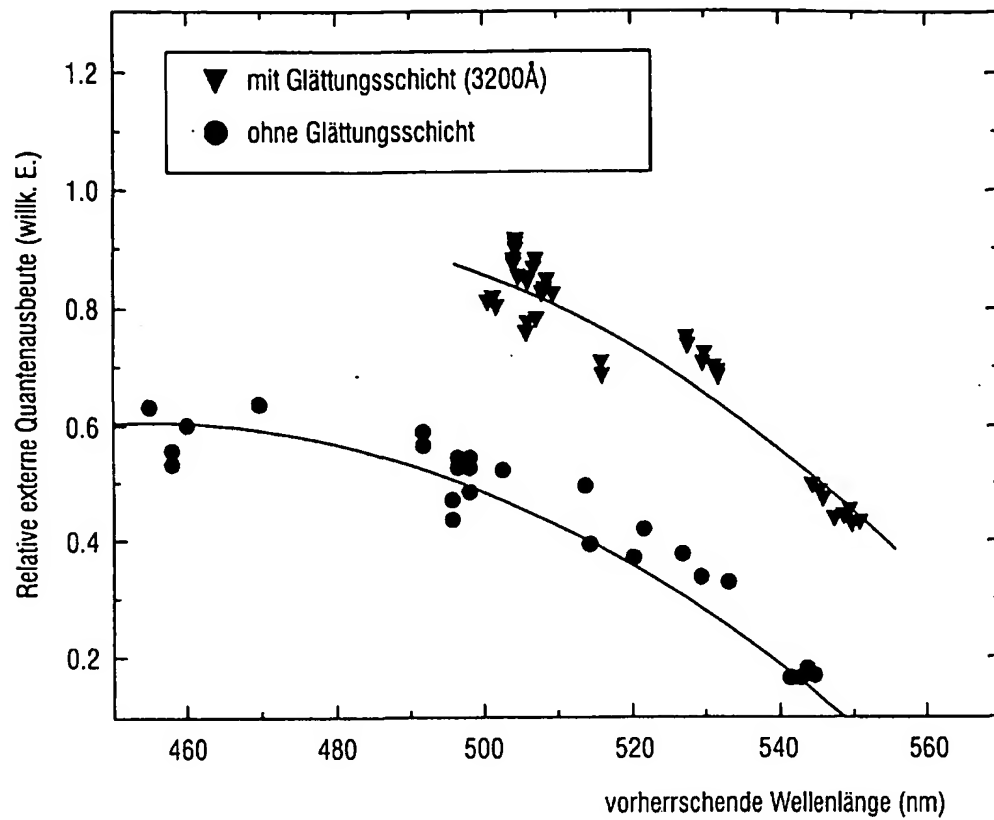
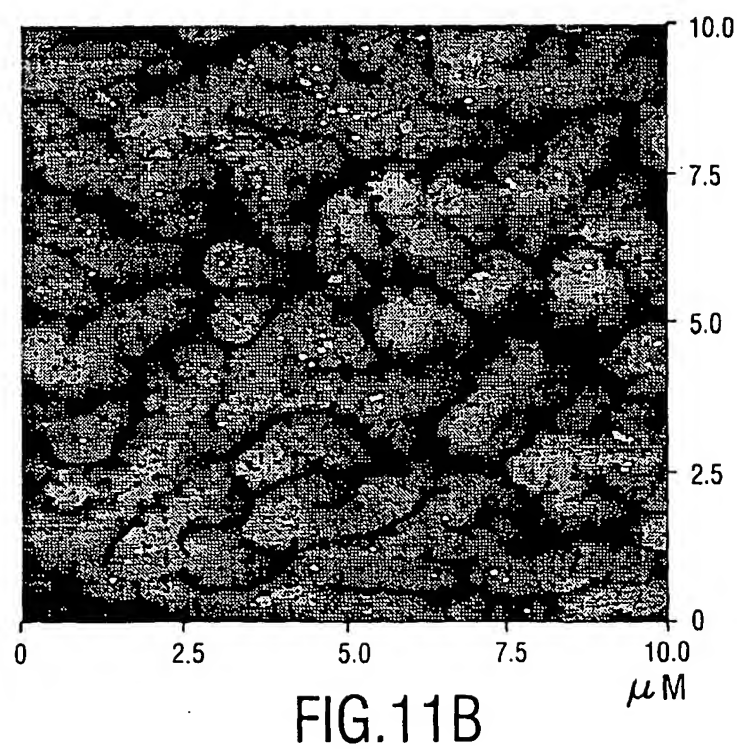
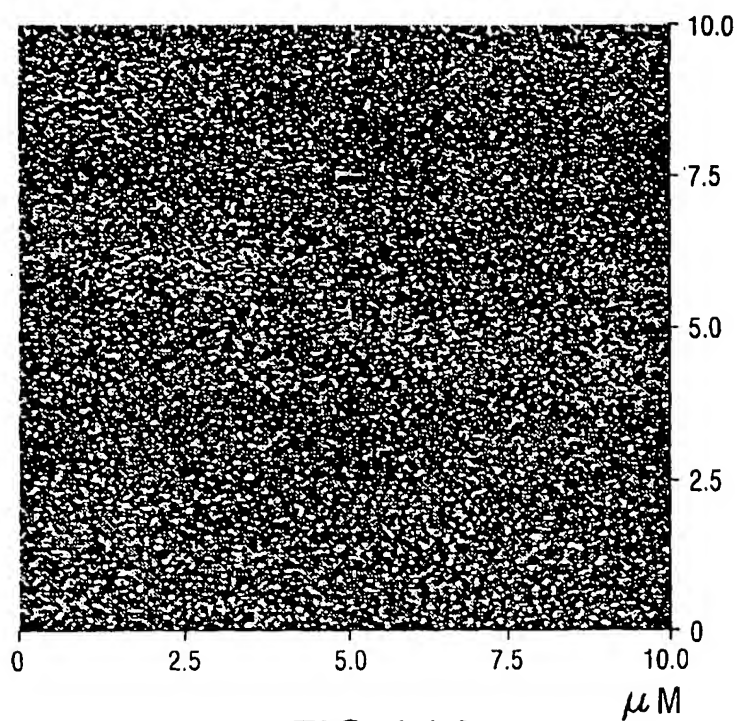


FIG.10



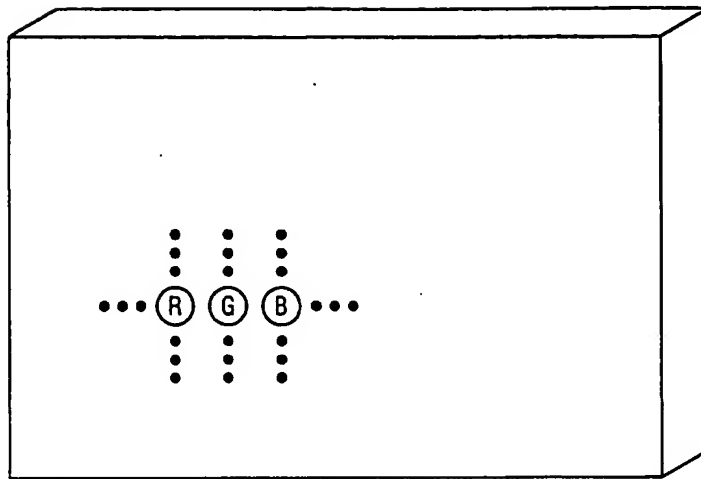


FIG.12

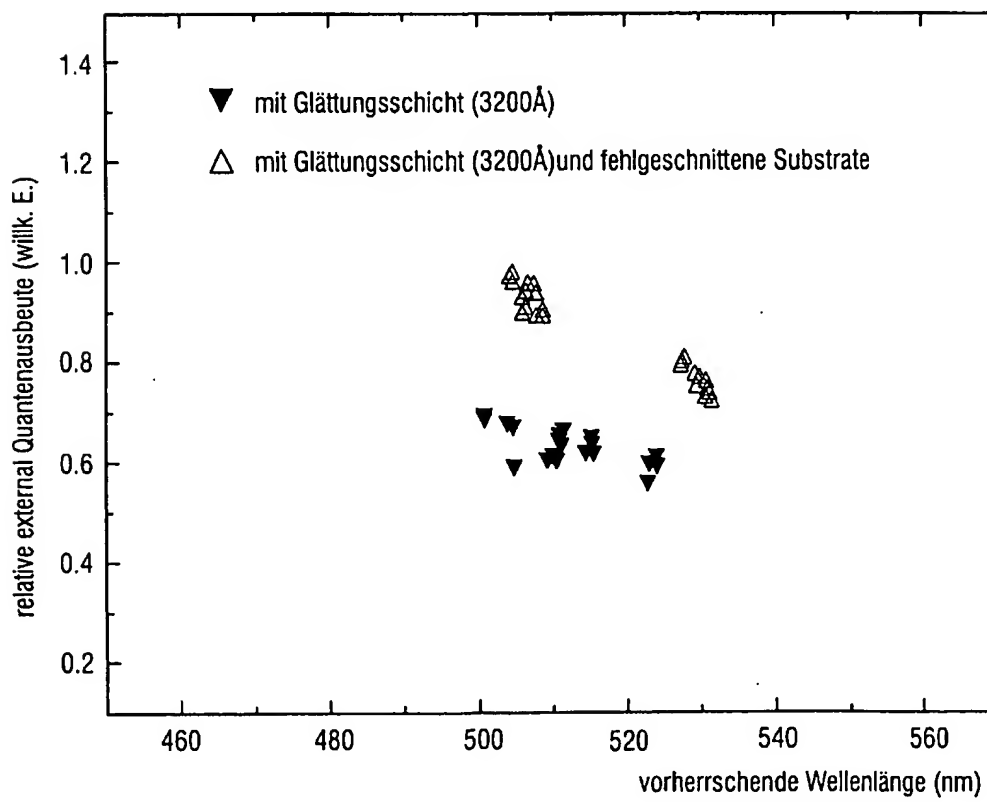


FIG.13